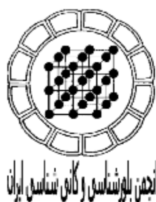
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارۀ سوم، پاییز ۹۸، از صفحۀ ۷۳۹ تا ۷۴۶



لایه نشانی و مشخصه‌یابی لایه‌های نازک SnO_2:Sb تهیه شده به روش اسپری پایرولیزیز

محمدرضا فدوی اسلام*

دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۸/۱۲، نسخه نهایی: ۹۷/۱۱/۲۴)

چکیده: در این مطالعه لایه‌های نازک نیمرسانای شفاف اکسید قلع آلاییده با ناخالصی آنتیموان بر روی زیر لایه‌های شیشه‌ای با غلظت‌های متفاوت آنتیموان به روش اسپری پایرولیزیز تهیه شده‌اند. اثر غلظت‌های مختلف آنتیموان بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک مورد مطالعه قرار گرفت. لایه‌های تهیه شده توسط پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان (FESEM) و جذب نوری (UV-vis) مشخصه‌یابی شدند. آنالیز XRD نشان داد که نمونه‌ها دارای ساختار بس‌بلور با جهت-گیری‌های ارجح صفحات (۱۱۰)، (۱۰۱)، (۲۰۰)، (۲۱۱) و (۳۰۱) مربوط به فاز اکسید قلع می‌باشند. اندازه بلورک‌ها و دانه‌ها با افزایش غلظت آنتیموان به ترتیب روندهای کاهشی و افزایشی نشان دادند. مطالعات نوری نمونه‌ها نشان داد که افزایش غلظت آنتیموان سبب کاهش عبور در گستره نور مرئی از ۷۲٪ به ۱۵٪ و گاف نوری از ۳/۷۲ به ۲/۹۸ eV شد. افزایش ناخالصی آنتیموان موجب رفتار کاهشی- افزایشی مقاومت الکتریکی شد. مطالعه ترموالکتریک نمونه‌ها، رسانش نوع n را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: *لایه نازک؛ اکسید قلع؛ ناخالصی آنتیموان.*

مقدمه

لایه‌های نازک اکسیدهای رسانای شفاف از قبیل SnO_2، In_2O_3، ZnO علاوه بر اینکه شفافیت نوری بالایی در ناحیه دیدگانی دارند، رسانایی الکتریکی مناسب از خود نشان می-دهند [۱، ۲]. این اکسیدها بدلیل خواص فیزیکی قابل توجه‌ای که دارند در گستره وسیعی از قطعات اپتوالکترونیک از قبیل سلول‌های خورشیدی، نمایشگرها و قطعات الکترونیک کاربرد دارند [۳-۱۰]. دی اکسید قلع نیمرسانا نوع n با گاف نوری در گستره ۳/۶-۳/۸ الکترون ولت است، که به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی از قبیل مقاومت الکتریکی پایین، شفافیت بالا در محدوده نور مرئی، پایداری شیمیایی بالا در محیط جو و داشتن گاف نواری مستقیم یکی از اکسیدهای نیمرسانای شفاف مهم به شمار می‌رود [۱۱-۱۳]. این نیمرسانا کاربردهای گسترده متنوعی شامل تبدیل انرژی خورشیدی، کاتالیستها، وریستورها، قطعات اپتوالکترونیک و صفحات نمایشگر دارد [۱۳-۱۵]. این نیمرسانای ارزان قیمت جزو مواد چند منظوره است که بدلیل ظرفیت دو و جاهای خالی اکسیژن در آن می تواند به عنوان حسگر گازی، کاتالیزور اکسیدی و رسانای شفاف بکار رود [۱۱، ۱۶-۱۸]. ویژگی‌های مختلف اکسید قلع را برای بیشتر کاربردها می‌توان با تزریق ناخالصی بهبود بخشید [۱۱]. لایه های نازک اکسید قلع آلائیده با رسانندگی الکتریکی بالا، عبور اپتیکی بالا در ناحیه نور مرئی و بازتابندگی بالای فروسرخ بعنوان الکترودهای شفاف در سلول‌های خورشیدی، قطعات اپتوالکترونیک، صفحات نمایشگر تخت، آینه‌های گرمایی و حسگرهای گازی کاربرد دارند [۱۹]. فلوئور(F)، اینديوم (In) و آنتیموان (Sb) ناخالصی‌هایی هستند که ویژگی‌های الکتریکی و نوری اکسید قلع را بهبود می‌بخشند [۲۰-۲۲]. از میان آنها، آنتیموان دارای بیشترین تاثیر و در ضمن کم هزینه ترین آنهاست [۲۳]. SnO_2:Sb (ATO) یک ماده نیمرسانای شفاف است [۱۶]. در پژوهش‌های پیشین تمرکز بر ویژگی‌های نوری و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۵۵۰۸۱۹ ، نمابر: ۰۲۳۳۵۲۲۰۰۹۰، پست الکترونیکی: m.r.fadavieslam@du.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.27.3.739]

الکتریکی لایه‌های ATO بود و اطلاعات محدودی در مورد تاثیر آنتیموان بر ساختار لایه‌ها موجود است [۳، ۲۴، ۲۵]. تاکنون لایه‌های نازک ATO در شرایط خلا از جمله با لیزرتپی (PLD) [۱۸]، کندوپاش [۹،۶] و پرتو الکترونی [۱۶] تهیه شده‌اند. با این وجود، روند تحقیقات از روش‌های فیزیکی برپایه خلا به روش‌های شیمیایی چون فوتوشیمیایی [۱۱]، سل-ژل [۱۳،۳]، بخار شیمیایی [۲۲،۱۰]، چرخشی [۳]، غوطه وری [۲۰] و اسپری پایرولیزیز [۴، ۷، ۱۴] تغییر کرده است. روش اسپری پایرولیزیز به دلیل ارزان و ساده بودن از مناسب‌ترین روش‌های شیمیایی تهیه لایه‌های نازک است.

در این پژوهش، لایه‌های نازک SnO_2 به روش اسپری پایرولیزیز تهیه شده و تاثیر افزودن ناخالصی آنتیموان بر ویژگی‌های ساختاری، نوری و الکتریکی آنها بررسی شد.

روش تجربی

در این پژوهش، لایه‌های نازک SnO_2:Sb بر بسترهای شیشه-ای لایه نشانی شدند. نخست، ۲۰ cc محلول یک مولار کلرید قلع پنج آبه ($SnCl_4$:$5H_2O$) تهیه شد. سپس برای تهیه لایه-های اکسید قلع با درصدهای متفاوت ناخالصی آنتیموان، مقادیر مختلفی از کلرید آنتیموان در حلال آب مقطر و پروپانول به نسبت حجمی ۱:۱ آماده شد و نسبت مولی $\left[\frac{Sb}{Sn}\right]$ در محلول اصلی از صفر تا ۱۰٪ تغییر داده‌شد. پس از آن، لایه‌های SnO_2 با ناخالصی Sb با شرایط یکسان (جدول ۱) تهیه شدند.

جهت مشخصه‌یابی ساختاری از دستگاه پراش پرتو X (با طول موج ۰٫۱۵۴۰۵۶ nm مدل -D8 ADVANCE BRUKER استفاده شد. برای بررسی ریختار سطح میکروسکوپ الکترونی مدلHITACHI S4160 بکارگرفته شد. ضخامت لایه‌های نازک با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطحی سورترونیک مدل stylus-Taylor Hobson تعیین شد. به منظور بررسی ویژگی‌های اپتیکی از طیف سنج دو گانه فرا بنفش- مرئی مدل UV-Vis 4802 استفاده شد. مشخصه‌یابی الکتریکی لایه‌ها به روش دو اتصالی انجام شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های ترموالکتریکی و تعیین نوع حامل‌ها توسط سامانه‌ای انجام شد که در آن یک طرف نمونه‌ها با یک گرماده الکتریکی داغ شده و طرف دیگر آن شامل قطعه ترموالکتریک سرد نگه‌داشته شده بود. به این ترتیب، با ثابت نگه‌داشتن دمای طرف سرد، طرف دیگر نمونه به‌تدریج گرم شده و توسط دو دماسنج قلمی که در دو طرف نمونه اختلاف دما (ΔT) و همزمان اختلاف پتانسیل ترموالکتریک بین دو ناحیه سرد و گرم (ΔV) توسط ولت‌متر اندازه‌گیری شد. در این صورت ضریب سیبک عبارت است از $S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$ [۸].

نتایج و بحث

مشخصه‌یابی ساختاری: بررسی الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌ها (شکل ۱) نشان می‌دهد که آنها دارای بس بلور هستند و تنها فاز SnO_2 با ساختار چارگوشی تشکیل شده است و فازهایی چون Sb_2O_3 و Sb_2O_5 دیده نشده‌اند، این امر احتمالا به این دلیل است که یون Sb یا جایگزین یون Sn در شبکه SnO_2 شده است [۳] و یا اینکه در ناحیه غیر بلوری مرز دانه‌ها قرار گرفته است [۹]. با افزایش ناخالصی آنتیموان از صفر تا ۲٫۵٪، شدت قله‌های پراش از صفحه‌های (۱۱۰)، (۱۰۱)، (۲۰۰)، (۲۱۱) و (۳۰۱) افزایش می‌یابد و قله ترجیحی مربوط به صفحه (۲۱۱) است. با افزایش بیشتر ناخالصی از ۲٫۵٪ تا ۱۰٪ به جز قله مربوط به صفحه (۱۱۰)، شدت سایر قله‌ها کاهش می‌یابد.

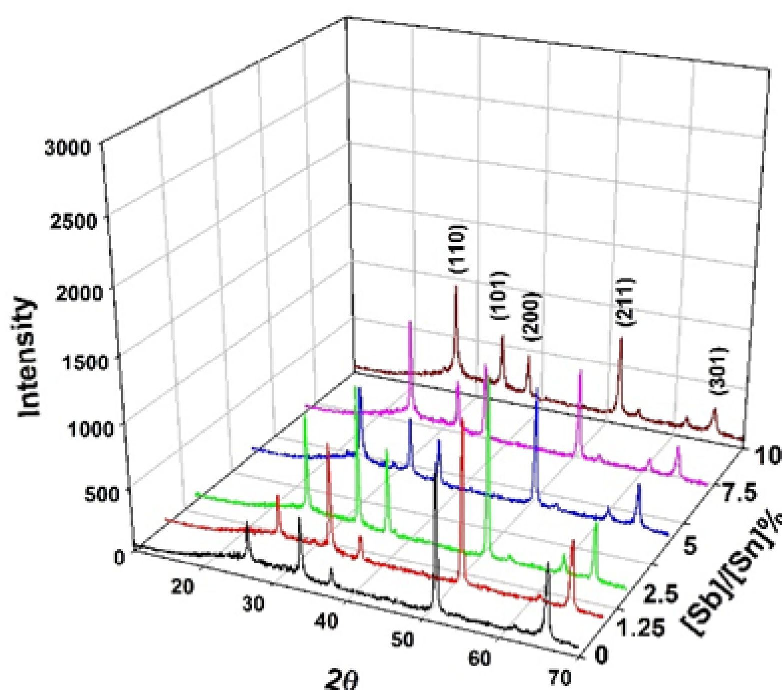
اندازه متوسط دانه‌های بلوری نمونه‌ها با بکارگیری رابطه شرر [۲۶] به دست آمد:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad (۱)$$

جدول ۱ شرایط لایه‌نشانی لایه‌ها

ارتفاع نازل تا بستر (cm)	۳۵
فشار گاز حامل (atm)	۳
آهنگ لایه‌نشانی (ml/min)	۳
دمای بستر (°C)	۵۵۰
حجم محلول اسپری (ml)	۲۰

[DOI: 10.29252/ijcm.27.3.739]



شکل ۱ مقایسه طیف‌های XRD لایه‌های SnO_2 با درصدهای مختلف آنتیموان.

در این رابطه، D متوسط اندازه بلورک‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. چنانکه دیده می‌شود، با افزایش ناخالصی آنتیموان از صفر تا ۲/۵٪ اندازه بلورک‌ها افزایش می‌یابد و سپس با افزایش بیشتر ناخالصی تا ۱۰٪ به طور کلی اندازه بلورک‌ها برای صفحه‌های (۱۱۰)، (۱۰۱)، (۲۰۰)، (۲۱۱) و (۳۰۱) کاهش می‌یابد که این رفتار در شدت قله‌های مربوط به صفحات پراش نیز مشاهده می‌شود. کاهش اندازه بلورک‌ها احتمالاً در اثر افزایش واپیچش شبکه و تنش درونی ناشی از افزایش ناخالصی آنتیموان است [۲۷].

ریخت‌شناسی: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل ۲ نشان داده شده‌است. این دیده می‌شود که ریختار سطح به شدت بستگی به غلظت ناخالصی دارد. در نمونه خالص، دانه‌های کوچکتر و با افزایش تراکم ناخالصی آنتیموان دانه‌های چند وجهی بزرگ دیده می‌شوند. متوسط اندازه دانه‌ها برای لایه بدون ناخالصی و با نسبت آنتیموان به قلع ۱/۲۵، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد به ترتیب ۱۱۴، ۱۷۰، ۲۲۰، ۲۴۸، ۱۷۵ و ۱۹۰ نانومتر است، که روند افزایشی- کاهشی را نشان می‌دهد. اندازه ذرات در تصویر FESEM بزرگتر از اندازه بلورک‌های محاسبه شده از رابطه شرر است که نشان می دهد که هر ذره شامل تعدادی نانو بلورک‌ها است [۲۸].

مشخصه‌یابی اپتیکی

تغییرات عبور لایه‌ها بر حسب طول موج (شکل ۳) نشان می‌دهد که با افزایش ناخالصی آنتیموان عبور کاهش می‌یابد [۲۸،۲۷]. کاهش عبور بدلیل افزایش پراکندگی فوتون جذب شده در اثر افزایش نقص بلوری است. افزون بر این، افزایش غلظت آنتیموان باعث مشارکت بیشتر Sb^{+3} و Sb^{+5} در شبکه SnO_2 شده، که منجر به انتقال الکترون بین حالت‌های اکسایشی متفاوت و سرانجام باعث جذب نور بیشتر توسط لایه‌ها و کاهش عبور در آنها می‌شود [۲۹]. متوسط عبور لایه‌ها در گستره نور مرئی در جدول ۳ آورده شده است.

ضریب جذب لایه‌ها (α) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\alpha = \frac{2.303 \times A}{t} \qquad (۲)$$

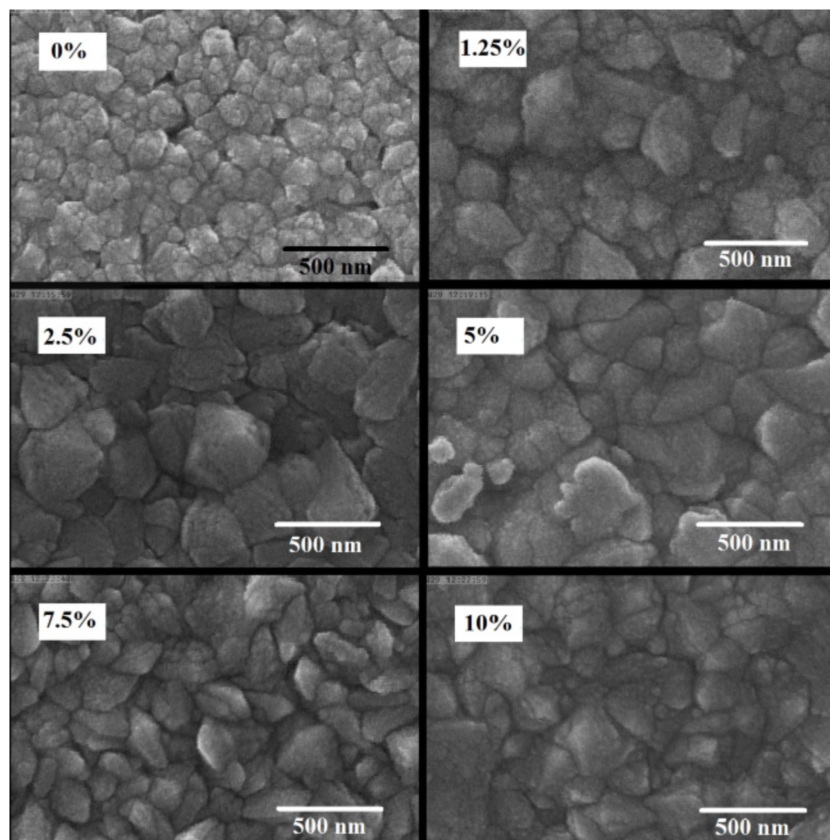
که در آن A جذب شده توسط طیف‌سنج اندازه‌گیری و t ضخامت لایه بر حسب نانومتر است. گاف انرژی (مستقیم) بر اساس رابطه تاوک [۳۰]:

$$(\alpha h\upsilon)^2 = A(h\upsilon - E_g) \qquad (۳)$$

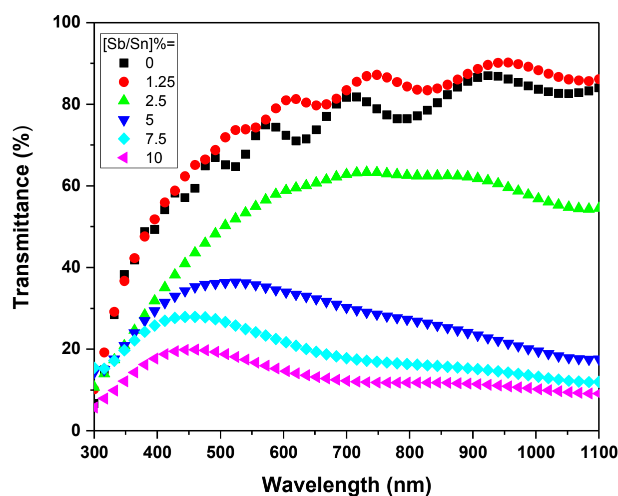
[DOI: 10.29252/ijcm.27.3.739]

جدول ۲ نتایج برآمده از طیف‌های XRD.

$\left[\frac{Sb}{Sn}\right]\%$ \ hkl		۱۱۰	۱۰۱	۲۰۰	۲۱۱	۳۰۱
۰	D(nm)	۲۴	۲۳	۲۲	۲۵	۲۰
۱٫۲۵	D(nm)	۲۵	۲۴	۲۰	۲۶	۲۱
۲٫۵	D(nm)	۲۷	۲۷	۲۴	۲۷	۲۳
۵	D(nm)	۲۲	۲۵	۲۰	۲۴	۲۱
۷٫۵	D(nm)	۲۵	۲۳	۲۳	۲۳	۱۷
۱۰	D(nm)	۲۲	۲۱	۲۱	۲۱	۱۵



شکل ۲ تصاویر FESEM لایه‌ای SnO_2 با درصدهای مختلف آنتیموان.



شکل ۳ نمودارهای عبور اپتیکی بر حسب طول موج برای لایه‌های SnO_2 با درصدهای مختلف آنتیموان.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.3.739]

جدول ۳ نتایج مشخصه‌یابی اپتیکی، الکتریکی و ترموالکتریکی لایه‌ها.

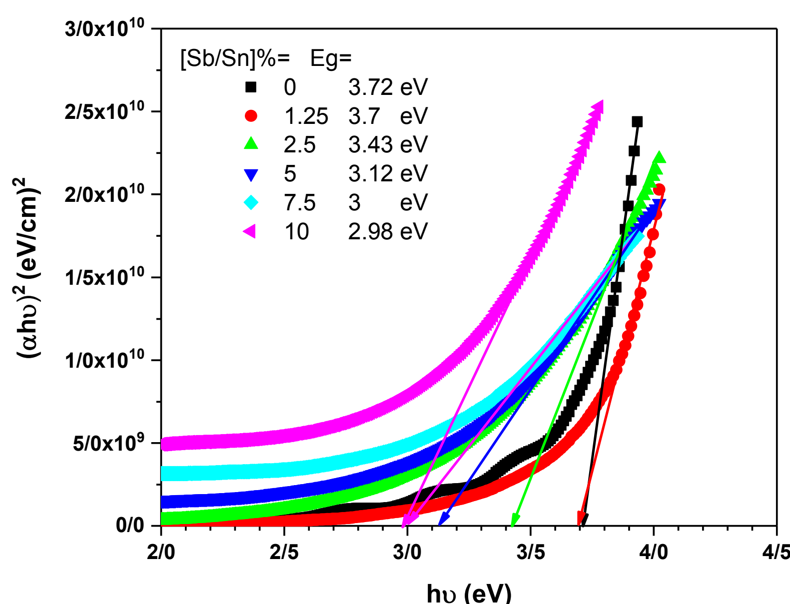
$\left[\frac{Sb}{Sn}\right]\%$	۰	۱٫۲۵	۲٫۵	۵	۷٫۵	۱۰
(nm) Thickness	۶۰۰	۵۹۰	۵۸۰	۴۳۰	۳۴۰	۳۳۰
متوسط عبور در گستره نور مرئی (٪)	۷۲	۷۷	۵۶	۳۳	۲۲	۱۵
E_g (eV)	۳٫۷۲	۳٫۷	۳٫۴۳	۳٫۱۲	۳	۲٫۹۸
مقاومت ویژه الکتریکی (Ω cm)	۱۴۹٫۸۵	۲۰٫۳	۱۷٫۰۹	۶٫۰۶	۱۰٫۵۹	۱۱٫۰۵
ضریب سیبک در(μV/k) 400 K	۶۸٫۷۴	۳۳٫۹۱	۱۸٫۸۴	۱۴٫۶۶	۲۰٫۴۶	۱۶٫۵

با رسم نمودار $(\alpha h\upsilon)^2$ بر حسب $(h\upsilon)$، از برونیابی بخش مستقیم منحنی با محور $\alpha = 0$ بدست آمد (شکل ۴ و جدول ۳). مطالعه نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ناخالصی، گاف نوری کاهش می‌یابد. رفتار کاهشی گاف نوری با افزایش ناخالصی آنتیموان، در دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نیز دیده شده است [۲۷،۱۰]، که می‌تواند ناشی از افزایش حالت‌های ناخالصی ناشی از ورود Sb در یاخته یکه ATO باشد. مقایسه تغییرات گاف نوری نمونه‌ها و متوسط اندازه دانه‌ها (شکل ۵) نشان می‌دهد که به طور کلی با افزایش اندازه‌ی دانه‌ها گاف نوری کاهش می‌یابد [۳۱]. افزون بر آن، کاهش گاف نوری می‌تواند به علت حضور پذیرنده‌ها و جایگزینی Sb^{+3} بجای Sn^{+4} باشد [۱۴].

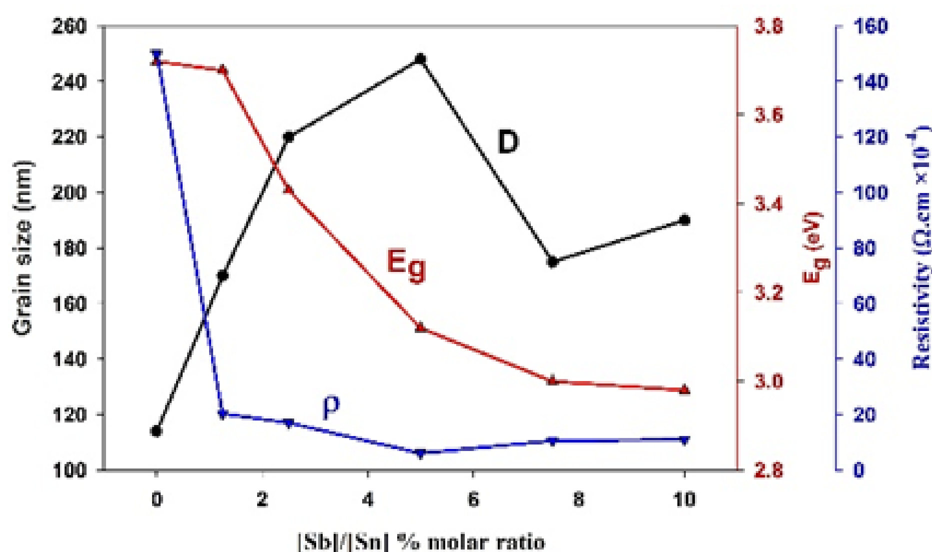
مشخصه‌یابی الکتریکی و ترموالکتریکی

نتایج اندازه‌گیری مقاومت لایه در جدول ۳ آورده شده است. دیده می‌شود که با افزایش ناخالصی، مقاومت رفتار کاهشی-افزایشی دارد. این رفتار در پژوهش‌های دیگران نیز مشاهده شده است [۹،۸]. در لایه‌های اکسید قلع آلائیده با ناخالصی آنتیموان، اکسایش ناخالصی آنتیموان به دو صورت Sb^{+5} و Sb^{+3} صورت می‌گیرد. اگر Sb^{+5} جایگزین Sn^{+4} شود منجر به افزایش الکترون‌های هدایت می‌شود و مقاومت کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت ناخالصی آنتیموان، Sb^{+3} جایگزین Sn^{+4} می‌شود و باعث تولید حالت‌های پذیرنده و کاهش حامل‌ها و در نتیجه افزایش مقاومت می‌شود [۳۲]. افزون بر آن، شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش اندازه دانه‌ها به دلیل کاهش آثار مرز دانه‌ها، مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد [۱۱].

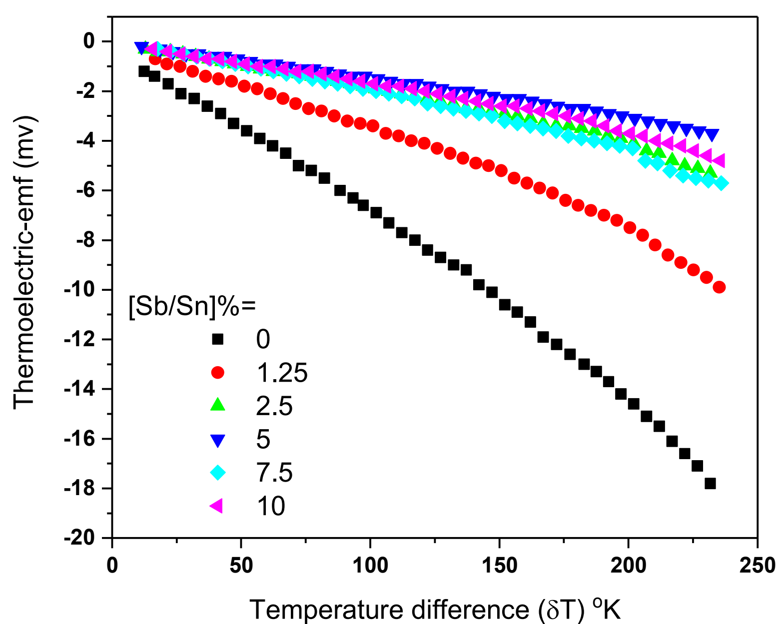
تغییرات پتانسیل ترموالکتریک بر حسب اختلاف دما برای نمونه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود، با افزایش اختلاف دمای دو سرلایه، ولتاژ ترموالکتریک در جهت منفی به طور خطی افزایش می‌یابد. شیب منفی این نمودارها نشان دهنده رسانش نوع n در لایه‌های نازک $SnO_2:Sb$ است [۹]. ضریب سیبک لایه‌ها در ۴۰۰K در جدول ۳ آورده شده‌اند.



شکل ۴ نمودارهای $(\alpha h\upsilon)^2$ بر حسب $(h\upsilon)$ برای لایه‌های SnO_2 با درصدهای مختلف ناخالصی آنتیموان.



شکل ۵ مقایسه تغییرات متوسط اندازه دانه‌ها، گاف اپتیکی و مقاومت لایه‌ها بر حسب مقدار آنتیموان.



شکل ۶ پتانسیل ترموالکتریک به صورت تابعی از اختلاف دما برای لایه‌های SnO_2 با درصدهای مختلف آنتیموان.

برداشت

بررسی الگوهای پراش XRD نمونه‌ها نشان می‌دهد که آنها بس بلور هستند. و اندازه بلورک‌های آنها در گستره ۱۵ تا ۲۷ نانومتر است که با افزایش ناخالصی آنتیموان روند افزایش-کاهشی را دنبال می‌کنند. افزون بر آن، افزایش غلظت آنتیموان سبب می‌شود عبور در گستره نور مرئی از ۷۲٪ به ۱۵ ٪ و گاف نوری از ۳٫۴۷ به ۲٫۹۸ eV کاهش یابد. مشخصه‌یابی الکتریکی نمونه‌ها نشان می‌دهد که آنها نیمرسانای نوع n هستند و افزایش ناخالصی تا ۵ درصد سبب کاهش مقاومت می‌شود و سپس با افزایش بیشتر ناخالصی، مقاومت افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] Bagheri-Mohagheghi M.M., Shokooh-Saremi M., *"The electrical, optical, structural and thermoelectrical characterization of n- and p-type cobalt-doped SnO_2 transparent semiconducting films prepared by spray pyrolysis technique"*, Physica B 405 (2010) 4205–4210.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.3.739]

[2] Yuonesi M., Izadifard M., Ghazi M. E., Esmaili Ghodsi F., *"Influence of Co and Fe substitution on optical and structural properties of zinc oxide thin films",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 19 (2011) 65-72.

[3] Ha-Rim An, ChangYeoulKim, Sung-TagOh, Hyo-JinAhn, *"Effect of sol-layers on Sb-doped SnO_2 thin films as solution-based transparent conductive oxides"*, Ceramics International 40 (2014) 385-391.

[4] Sushant Gupta, B.C. Yadav, Prabhat K. Dwivedi, B. Das, Microstructural, *"optical and electrical investigations of Sb-SnO_2 thin films deposited by spray pyrolysis",* Materials Research Bulletin 48 (2013) 3315-3322.

[5] S. M. B. Gharshi, A. Bejat, M. Naghabi, G. Mirjalili, *"Simulation and fabrication of nanostructured ZnS/Metal/ZnS films and study of their structural and optical properties*, NW of Iran (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2013) 169-178.

[6] Wenhao Yang, Shihui Yu, Yang Zhang, Weifeng Zhang, *"Properties of Sb-doped SnO_2 transparent conductive thin films deposited by radio-frequency magnetron sputtering",* Thin Solid Films 542 (2013) 285-288.

[7] Seung-Yup Lee, Byung-Ok Park, *"Structural, electrical and optical characteristics of SnO_2:Sb thin films by ultrasonic spray pyrolysis",* Thin Solid Films 510 (2006) 154-158.

[8] E. Elangovan, S.A. Shivashankar, K. Ramamurthi, *"Studies on structural and electrical properties of sprayed SnO_2:Sb films",* Journal of Crystal Growth 276 (2005) 215-221.

[9] Hong-Lei Ma, Xiao-Tao Hao, Jin Ma, Ying-Ge Yang, Jie Huang, De-Heng Zhang,Xian-Gang Xu, *"Thickness dependence of properties of SnO_2:Sb films deposited on flexible substrates",* Applied Surface Science 191 (2002) 313-318.

[10] S. Haireche, A. Boumeddiene, A. Guittoum, A. El Hdiy, A. Boufelfel, *"Structural, morphological and electronic study of CVD SnO_2:Sb films",* Materials Chemistry and Physics 139 (2013), 871-876.

[11] Dengbaoleer Ao, Masaya Ichimura, *"Deposition and characterization of Sb and Cu doped nanocrystalline SnO_2 thin films fabricated by the photochemical method"*, Journal of Non-Crystalline Solids 358 (2012) 2470-2473.

[12] E.A. Floriano, L.V.A. Scalvi, J.R. Sambrano, A. de Andrade, *"Decay of photo-induced conductivity in Sb-doped SnO_2 thin films, using monochromatic light of about bandgap energy",* Applied Surface Science 267 (2013) 164-168.

[13] Viviany Geraldo, Luis V.A. Scalvi, P.N. Lisboa-Filho, C. Morilla-Santos, *"Drude's model calculation rule on electrical transport in Sb-doped SnO_2 thin films, deposited via sol–gel",* Journal of Physics and Chemistry of Solids 67 (2006) 1410-1415.

[14] Rita Singh, ManishKumar, S.Shankar, RajeevSingh, Anup K.Ghosh, O.P.Thakur, B.Das, *"Effects of Sb, Zn doping on structural, electrical and optical properties of SnO_2 thin films",* Materials Sciencein Semiconductor Processing 31 (2015) 310-314.

[15] Novinrooz Abdoljavad, Sarabadani Parvin, Garousi Javad, *"Characterization of Pure and Antimony Doped SnO_2 Thin Films Prepared by the Sol-Gel Technique",* Iran. J. Chem. Chem. Eng. 25 (2006) 31-38.

[16] Xiudi Xiao, Guoping Dong, Jianda Shao, Hongbo He, Zhengxiu Fan, *"Optical and electrical properties of SnO_2:Sb thin films deposited by oblique angle deposition",* Applied Surface Science 256 (2010) 1636-1640.

[17] J. Mazloom, F.E. Ghodsi, M. *"Gholami, Fiber-like stripe ATO (SnO_2:Sb) nanostructured thin films grown by sol–gel method: Optical, topographical and electrical properties",* Journal of Alloys and Compounds 579 (2013) 384-393.

[18] Shihui Yu, Linghong Ding, Chuang Xue, Li Chen, W.F. Zhang, *"Transparent conducting Sb-doped SnO_2 thin films grown by pulsed laser deposition",* Journal of Non-Crystalline Solids 358 (2012) 3137-3140.

[19] Shihui Yu, Weifeng Zhang, Linngxia Li, Dan Xu, Helei Dong, Yuxin Jin, *"Fabrication of p-type SnO_2 films via pulsed laser deposition method by using Sb as dopant",* Applied Surface Science 286 (20130 417-420.

[20] S. Sujatha Lekshmy, Georgi P. Daniel, K. Joy, *"Microstructure and physical properties of sol gel derived SnO_2:Sb thin films for optoelectronic applications",* Applied Surface Science 274 (2013) 95-100.

[21] Haoran Zheng, Lingxia Li, Zheng Sun, Shihui Yu, Weijia Luo, *"Preferential orientation, microstructure and functional properties of*

aluminium- und wolframspaenen", Acta Metallurgica 1 (1953) 22-31

[28] M. R. Fadavieslam, N. Shahtahmasebi, M. Rezaee-Roknabadi, M. M. R. Bagheri-Mohagheghi, *"A study of the photoconductivity and thermoelectric properties of Sn_xS_y optical semiconductor thin films deposited by the spray pyrolysis technique",* Phys. Scr. 84 (2011) 035705 (8pp).

[29] Soheila Hemmatzadeh Saeedabad, Gurpreet Singh Selopal, Seyed Mohammad Rozati, Yaser Tavakoli, Giorgio Sberveglieri, *"From Transparent Conducting Material to Gas-Sensing Application of SnO_2:Sb Thin Films",* Journal of Electronic Materials 47 (2018) 5165–5173

[30] ShiminLiu,Wanyu Ding, YousongGu, Weiping Chai, *"Effect of Sb doping on the microstructure and optoelectrical properties of Sb-doped SnO_2 films prepared by spin coating",* Phys. Scr. 85 (2012) 065601(5pp).

[31] Sk. F. Ahmed, S. Khan, P. K. Ghosh, M. K. Mitra, K. K. Chattopadhyay, *"Effect of Al doping on the conductivity type inversion and electro-optical properties of SnO_2 thin films synthesized by sol-gel technique",* Journal of Sol-Gel Science and Technology 39 (2006) 2421-247

[32] R. Outemzabet, M. Doulache, M. Trari, *"Physical and photoelectrochemical properties of Sb-doped SnO_2 thin films deposited by chemical vapor deposition: application to chromate reduction under solar light",* Applied Physics A 119 (2015) 589-596

SnO_2:Sb thin film: The effects of post-growth annealing", Applied Surface Science 362 (2016) 230-236.

[22] Yang-Yi Lin, Albert T. Wu, Ching-Shun Ku, and Hsin-Yi Lee, *"Analysis of Chlorine Ions in Antimony-Doped Tin Oxide Thin Film Using Synchrotron Grazing Incidence X-ray Diffraction",* Japanese Journal of Applied Physics 51 (2012) 10NE28-4.

[23] B. Zhang, Y. Tian, J.X. Zhang, W. Cai, *"The FTIR studies of SnO_2:Sb (ATO) films deposited by spray pyrolysis",* Materials Letters 65 (2011) 1204-1206.

[24] Xiudi Xiao, Guoping Dong, Jianda Shao, Hongbo He, Zhengxiu Fan, *"Optical and electrical properties of SnO_2:Sb thin films deposited by oblique angle deposition"*, Applied Surface Science 256 (2010) 1636-1640.

[25] Bon-RyulKoo,Hyo-JinAhn, *"Structural, electrical, and optical properties of Sb-doped SnO_2 transparent conductive oxides fabricated using an electrospray technique",* Ceramics International 40 (2014) 4375-4381.

[26] M. Ranjbar, M. Ghazi, M. Izadifard, *"Effect of drying temperature on structural, dielectric, optical and magnetic properties of sol-gel derived BiFeO3 nanoparticles,* NW of Iran (in Persian)", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (2018) 251-260.

[27] G.K Williamson, W.H Hall, *"X-ray line broadening from filed aluminium and wolfram Die verbreiterung der roentgeninterferenzlinien von*

[DOI: 10.29252/ijcm.27.3.739]